

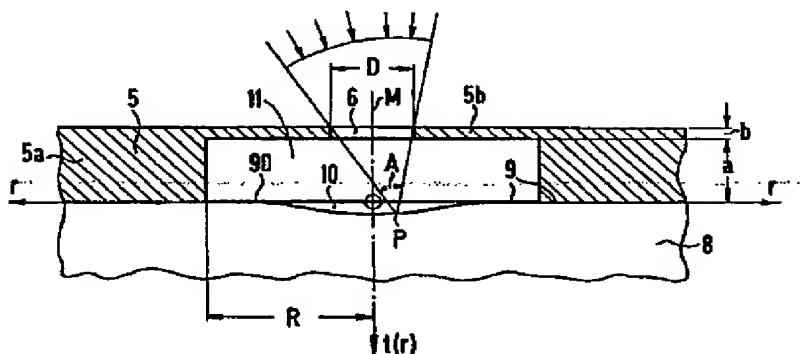
**PCT**  
 WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM  
 Internationales Büro  
 INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
 INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)



(51) Internationale Patentklassifikation <sup>6</sup> : <b>G01L 19/06, 9/00</b>	<b>A1</b>	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: <b>WO 95/13525</b>  (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 18. Mai 1995 (18.05.95)
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE94/01274 (22) Internationales Anmeldedatum: 28. Oktober 1994 (28.10.94)  (30) Prioritätsdaten: P 43 38 575.3        11. November 1993 (11.11.93)    DE  (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, D-80333 München (DE).  (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): PETERS, Dethard [DE/DE]; Troppauer Strasse 31, D-91315 Höchstadt (DE).		(81) Bestimmungsstaaten: JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).  Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i> <i>Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen</i> <i>Frist. Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen</i> <i>eintreffen.</i>

(54) Title: METHOD OF PRODUCING AT LEAST ONE RECESS IN A SURFACE OF A SUBSTRATE, DEVICE FOR CARRYING OUT THE SAID METHOD AND USE OF THE PRODUCT THUS OBTAINED

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM ERZEUGEN WENIGSTENS EINER AUSNEHMUNG IN EINER OBERFLÄCHE EINES SUBSTRATS, VORRICHTUNG ZUR DURCHFÜHRUNG DES VERFAHRENS UND VERWENDUNG DES VERFAHRENSPRODUKTS



**(57) Abstract**

With the proposed method, a masking device (5) with an aperture (6) is placed on the substrate (8), the masking device (5) and the region to be etched (90) on the substrate surface (9) forming a hollow chamber (11) which communicates with the reaction chamber (4) only via the aperture (6). The recess (10) is produced with the aid of corrosive radicals produced in the reaction chamber. In this way, a recess (10) with a smooth and precisely adjustable depth contour is obtained.

#### (57) Zusammenfassung

Bei dem Verfahren gemäß der Erfindung wird auf das Substrat (8) eine Lochblendeneinrichtung (5) mit einer Öffnung (6) aufgesetzt, wobei die Lochblendeneinrichtung (5) und der zu ätzende Bereich (90) der Substratoberfläche (9) einen Hohlraum (11) bilden, der nur über die Öffnung (6) mit einem Reaktionsraum (4) verbunden ist. Mit Hilfe von in dem Reaktionsraum erzeugten Ätzradikalen wird die Ausnehmung (10) in der Substratoberfläche erzeugt. Man erhält so eine Ausnehmung (10) mit einem glatten und exakt einstellbaren Tiefenprofil.

#### LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AT	Österreich	GA	Gabon	MR	Mauretanien
AU	Australien	GB	Vereinigtes Königreich	MW	Malawi
BB	Barbados	GE	Georgien	NE	Niger
BE	Belgien	GN	Guinea	NL	Niederlande
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	NO	Norwegen
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	NZ	Neuseeland
BJ	Benin	IE	Irland	PL	Polen
BR	Brasilien	IT	Italien	PT	Portugal
BY	Belarus	JP	Japan	RO	Rumänien
CA	Kanada	KE	Kenya	RU	Russische Föderation
CF	Zentrale Afrikanische Republik	KG	Kirgisistan	SD	Sudan
CG	Kongo	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	SE	Schweden
CH	Schweiz	KR	Republik Korea	SI	Slowenien
CI	Côte d'Ivoire	KZ	Kasachstan	SK	Slowakei
CM	Kamerun	LI	Liechtenstein	SN	Senegal
CN	China	LK	Sri Lanka	TD	Tschad
CS	Tschechoslowakei	LU	Luxemburg	TG	Togo
CZ	Tschechische Republik	LV	Lettland	TJ	Tadschikistan
DE	Deutschland	MC	Monaco	TT	Trinidad und Tobago
DK	Dänemark	MD	Republik Moldau	UA	Ukraine
ES	Spanien	MG	Madagaskar	US	Vereinigte Staaten von Amerika
FI	Finnland	ML	Mali	UZ	Usbekistan
FR	Frankreich	MN	Mongolei	VN	Vietnam

## 1 Beschreibung

- \* Verfahren zum Erzeugen wenigstens einer Ausnehmung in  
einer Oberfläche eines Substrats, Vorrichtung zur Durch-  
- 5 führung des Verfahrens und Verwendung des Verfahrenspro-  
dukts

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Erzeugen wenig-  
stens einer Ausnehmung in einer Oberfläche eines Sub-  
10 strats, einer Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens  
und eine Verwendung des mit dem Verfahren hergestellten  
Substrats mit der Ausnehmung.

In vielen technischen Gebieten werden Membrane eingesetzt.  
15 Ein wichtiges Anwendungsgebiet ist die Sensorik, bei der  
die Auslenkung oder Schwingung einer Membran zum Messen  
einer physikalischen Größe ausgenutzt wird. Beispiele da-  
für sind die meist in Silizium gefertigten Drucksensoren  
oder auch Schallsensoren. In allen Anwendungen ist zu  
20 beachten, daß die Membran durch zu große Stoß- oder  
Druckeinwirkungen bei Überlast zerstört werden kann. Dies  
ist insbesondere dann der Fall, wenn die Membran aus einem  
relativ spröden Material wie Silizium besteht. Zur Über-  
lastsicherung der Membran wird in der Regel ein Formbett  
25 vorgesehen, an das sich die Membran im Überlastfall  
anlegen kann.

Es sind einige Verfahren zum Herstellen solcher Formbet-  
ten bekannt, bei denen in einer ebenen Oberfläche eines  
30 Substrats eine Ausnehmung erzeugt wird.

Bei einem ersten Verfahren wird in der (100)-Oberfläche

- 1 eines Siliziumsubstrats durch anisotropes Naßätzen mit  
Kalilauge (KOH) eine Ausnehmung mit einem trapezförmigen  
Profil erzeugt. Im Überlastfall legt sich die Membran im  
mittleren Bereich des flachen Bodens der Ausnehmung an.  
5 Die Stützfunktion des Formbettes kann daher nur in diesem  
kleinen mittleren Bereich wirken, so daß die Membran bei  
weiterer Beanspruchung zerstört werden kann.

- Eine zweite Möglichkeit zum Herstellen solcher Formbetten  
10 besteht darin, durch mehrere, hintereinander ausgeführte  
Lithographieschritte mit Photolackmasken zunehmenden  
Durchmessers eine Ausnehmung mit treppenförmigem Profil in  
einem Siliziumsubstrat zu erzeugen. Durch Erhöhen der An-  
zahl der Lithographieschritte kann das Profil der Ausneh-  
15 mung einem glatten Verlauf angenähert werden (WO 90/04701,  
insbesondere FIG. 3). Jedoch bleiben immer Stufen beste-  
hen, die wegen ihrer Kerbwirkung problematisch sind. Au-  
ßerdem ist das Verfahren wegen der vielen Prozeßschritte  
aufwendig und erfordert eine genaue Justierung der Ätz-  
20 masken bei jedem Lithographieschritt.

- Auch mit Graubereichslithographie kann ein Formbett her-  
gestellt werden. Bei diesem dritten Verfahren wird für  
das Substrat eine Maske mit einer Grauzone benötigt, die  
25 zum Zentrum der gewünschten Ausnehmung hin heller wird.  
Bei der Lithographie entsteht so unter geeigneten Belich-  
tungsbedingungen ein Lackprofil mit zum Zentrum hin ab-  
nehmender Dicke. Beim anschließenden Ätzen des Substrats  
weicht die Lackmaske zurück und gibt immer mehr Substrat-  
30 flächen frei. Ein Nachteil dieses Herstellungsverfahrens  
liegt darin, daß das Zurückweichen der Lackmaske sich  
bestenfalls bis zu einer Größe von 10 bis 20 µm realisie-  
ren läßt. Damit ist das Verfahren nicht anwendbar, wenn

- 1 der Durchmesser des Formbetts wesentlich größer sein soll  
als seine Tiefe.

- 5 Eine vierte Möglichkeit zum Herstellen des Formbetts ist  
das mechanische Bearbeiten des Substrats durch Drehen,  
Fräsen, Schleifen, Polieren oder Strahlen. Die Präzision  
dieser Verfahren ist bei Profiltiefen von einigen  $\mu\text{m}$  unzu-  
reichend.

- 10 Zum Ätzen von Substratoberflächen sind Ätzverfahren be-  
kannt, die als Trockenätzen bezeichnet werden. Das  
charakteristische Merkmal solcher Trockenätzprozesse ist  
die chemische Reaktion von Radikalen oder Ionen eines Ätz-  
gases mit der Substratoberfläche unter Bildung eines  
15 flüchtigen Reaktionsproduktes. Die chemische Reaktion kann  
spontan, ionen-, elektronen- oder photoneninduziert sein.  
Die Ätzgasradikale werden im allgemeinen in einem Nieder-  
druckplasma typischerweise zwischen  $10^{-1}$  und  $10^3$  Pa er-  
zeugt. Das reaktive Trockenätzen wird in diesen Fällen  
20 deshalb oft auch als Plasmaätzen bezeichnet. Das Plasma  
kann durch ein elektromagnetisches Hochfrequenzfeld er-  
zeugt werden, das entweder an Elektroden angelegt oder  
direkt als Mikrowellen zugeführt wird. Zur Durchführung  
des Trockenätzprozesses sind mehrere Plasma-Reaktortypen  
25 bekannt. Alle Typen haben einen Rezipienten, in dem das zu  
ätzende Substrat angeordnet wird und der mit Anschlüssen  
zum Evakuieren und zum Zuführen des Ätzgases versehen ist.  
Bei einem ersten Reaktortyp, dem sogenannten Tunnelreaktor  
(Barrel reactor), ist innerhalb eines Gehäuses, das vor-  
zugsweise aus Quarz besteht, eine hohlzylindrische, per-  
forierte Abschirmung vorgesehen, die einen Tunnel bildet.  
30 Auf einander gegenüberliegenden Seiten ist die Abschirmung  
von im Querschnitt etwa halbkreisförmigen Elektroden um-

1     geben. An die Elektroden wird mit Hilfe eines Hochfre-  
quenzgenerators ein elektromagnetisches Hochfrequenzfeld  
angelegt. Innerhalb der Abschirmung ist auf einem so ge-  
nannten Boot das zu ätzende Substrat angeordnet. Die Ab-  
5     schirmung bewirkt, daß keine geladenen Teilchen (Elektro-  
nen, Ionen) an das Substrat gelangen. Bei einem zweiten  
Reaktortyp wird das Substrat auf der ebenen Oberfläche  
einer in dem Rezipienten angeordneten Elektrode angeord-  
net. Es kann nun in einer ersten bekannten Ausführungsform  
10    die Elektrode mit dem Substrat geerdet sein und eine wei-  
tere ebene Elektrode parallel zu der Elektrode mit dem  
Substrat in dem Rezipienten angeordnet sein, die elek-  
trisch mit dem Hochfrequenzgenerator verbunden ist. In  
einer anderen bekannten Ausführungsform ist die Elektrode  
15    mit dem Substrat selbst an den Hochfrequenzgenerator  
angeschlossen und die zweite Elektrode geerdet. Es kann  
allerdings auch das Gehäuse des Rezipienten geerdet sein  
und somit als zweite Elektrode vorgesehen sein. Bei einem  
dritten Reaktortyp werden die Gasradikale in einem Plasma-  
20    raum mittels Mikrowellen erzeugt und über eine Zuleitung  
in eine Ätzkammer geleitet, in der das zu ätzende Substrat  
angeordnet ist. Eine Übersicht über diese und weitere  
bekannte Reaktortypen sowie verschiedene Ausführungsformen  
von Trockenätzverfahren gibt das Buch von Landolt-Börn-  
25    stein: "Numerical Data and Functional Relationship in  
Science & Technology Group 3 -Crystal & Solid State  
Physics, Vol. 17, Semiconductors, Subvolume c, Technology  
of Si, Ge und SiC", Tokyo 1984, Springer-Verlag, Seiten  
319 bis 321, 326 bis 328 und 566 und 567.

30    Der Erfindung liegt nun die Aufgabe zugrunde, ein Verfah-  
ren zum Erzeugen wenigstens einer Ausnehmung in einer  
Oberfläche eines Substrats anzugeben. Die Ausnehmung soll

1 in ihrer Tiefe und in ihren lateralen Abmessungen präzise  
und reproduzierbar einstellbar sein und ein glattes  
Tiefenprofil aufweisen. Das Substrat mit der Ausnahme  
soll als Formbett für eine Membran verwendbar sein. Ferner  
5 ist eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens anzugeben.

Diese Aufgabe wird gemäß der Erfindung gelöst mit den  
Merkmale des Anspruchs 1 bzw. des Anspruchs 12 bzw. des  
10 Anspruchs 7. In einem Trockenätzprozeß wird zunächst auf  
die zu ätzende Substratoberfläche die Lochblendeneinrichtung  
aufgesetzt oder aufgebracht. Die Lochblendeneinrichtung  
deckt den Bereich der Substratoberfläche ab, in dem  
die Ausnahme zu erzeugen ist. Dabei bilden die Loch-  
15 blendeneinrichtung und die Substratoberfläche einen Hohlraum,  
der nur über eine Öffnung in der Lochblendeneinrichtung  
mit dem Reaktionsraum verbunden ist. Somit können die  
während des Ätzens in dem Reaktionsraum vorhandenen Ätz-  
radikale nur noch durch die Öffnung in der Lochblendenein-  
20 richtung zu dem zu ätzenden Bereich der Substratoberfläche  
gelangen. Damit wird jedoch die Ätzrate in diesem zu  
ätzenden Bereich ortsabhängig. Da sich die Ätzradikale  
weitgehend geradlinig bewegen, ist die Ätzrate nämlich an  
einem Ort innerhalb des zu ätzenden Oberflächenbereichs in  
25 guter Näherung proportional zum Raumwinkel, unter dem man  
von diesem Ort auf der Oberfläche den Reaktionsraum durch  
die Öffnung der Lochblendeneinrichtung sehen kann. Die  
Ätzrate ist in einem Zentrum des zu ätzenden Oberflächen-  
bereichs direkt unterhalb der Öffnung der Lochblendenein-  
30 richtung maximal und nimmt nach außen zu den Rändern hin  
immer weiter ab. Dabei überträgt sich die glatte, d.h.  
stetig differenzierbare, Änderung des Raumwinkels direkt  
auf die Ätzrate und damit auf das Ätzprofil. Es entsteht

6

1 somit eine Ausnehmung mit einem glatten, weichen Ätzpro-  
fil.

Vorteilhafte Ausgestaltungen gemäß der Erfindung ergeben  
5 sich aus den Unteransprüchen.

Zur weiteren Erläuterung wird auf die Zeichnung Bezug ge-  
nommen, in deren  
FIG 1 ein Substrat mit aufgesetzter Lochblendeneinrichtung  
10 im Querschnitt,  
FIG 2 das Tiefenprofil eine Ausnehmung in der Substrat-  
oberfläche nach Entfernen der Lochblendeneinrich-  
tung,  
FIG 3 eine Ausführungsform einer Trockenätzvorrichtung zum  
15 Erzeugen einer Ausnehmung in dem Substrat und  
FIG 4 und 5 eine Ausführungsform einer Vorrichtung mit  
einer zylindrischen Lochblendeneinrichtung und einer  
Ätzschuttschicht auf dem Substrat in der Draufsicht  
bzw. im Querschnitt  
20 schematisch dargestellt sind. Entsprechende Teile sind mit  
denselben Bezugszeichen versehen.

In der FIG 1 sind ein Substrat mit 8, seine Oberfläche mit  
9, ein Bereich der Oberfläche 9 mit 90, eine in diesem Be-  
reich 90 liegende Ausnehmung in der Oberfläche 9 mit 10,  
25 ein Punkt auf dem Boden dieser Ausnehmung 10 mit P, eine  
topfartige Lochblendeneinrichtung mit 5 mit einem sockel-  
artigen Seitenteil 5a und einem Deckelteil 5b, eine Öff-  
nung in dieser Lochblendeneinrichtung in dem Deckelteil 5b  
30 mit 6, der Durchmesser dieser Öffnung mit D, die der Dicke  
des Deckelteils 5b entsprechende Tiefe dieser Öffnung 6  
mit b, eine Mittelachse der Öffnung 6 mit M, der Abstand  
der Öffnung 6 von der Oberfläche 9 des Substrats 8 mit a,



7

1 ein von der Lochblendeneinrichtung 5 und der Substratober-  
fläche 9 eingeschlossener Hohlraum mit 11, ein jenseits  
des Hohlraums 11 auf der anderen Seite der Öffnung 6 lie-  
gender Reaktionsraum mit 4 und ein von dem Punkt P durch  
5 die Öffnung 6 gegebener Raumwinkelausschnitt mit A be-  
zeichnet. Die Lochblendeneinrichtung 5 ist oben bis auf  
die Öffnung 6 geschlossen und nach unten offen. Mit ihrem  
ringsum geschlossenen Sockelteil 5a ist die Lochblenden-  
einrichtung 5 auf die Oberfläche 9 des Substrats 8 ent-  
10 weder in vorgefertigter Form aufgesetzt oder durch Auf-  
wachsen und Strukturieren entsprechender Schichten auf-  
gebracht und wird in der Regel nach dem Erzeugen der Aus-  
nehmung wieder entfernt. In der dargestellten vorteil-  
haften Ausführungsform ist die zu ätzende Substratober-  
15 fläche 8 eben und die Öffnung 6 in der aufgebrachten  
Lochblendeneinrichtung 5 ist parallel zur Oberfläche 9  
gerichtet. Die Gestalt der Öffnung 6 überträgt sich nun in  
definiert unscharfer Form auf die Gestalt der erzeugten  
Ausnehmung 10. Beispielsweise wird bei einer rechteckigen  
20 Öffnung 6 die Ausnehmung 10 im wesentlichen rechteckig und  
bei einer kreisrunden Öffnung 6 im wesentlichen auch  
kreisrund sein.

Die Oberfläche 9 des Substrats 8 kann allerdings auch  
25 beliebig gekrümmt sein. Die Lochblendeneinrichtung 5 ist  
dann entsprechend der Oberfläche 9 anzupassen. Die Öffnung  
6 kann auch zur Oberfläche 9 des Substrats 8 geneigt sein.  
Man erhält dann ein asymmetrisches Tiefenprofil der Aus-  
nehmung 10.

30 Durch einen einfliegenden Strom von Ätzgasradikalen aus  
dem Reaktionsraum 4 durch die Öffnung 6 zur Oberfläche 9  
entsteht nun während des Trockenätzprozesses in der darge-  
stellten Ausführungsform eine Ausnehmung 10 in der Sub-

1       stratoberfläche 9, deren Tiefenprofil  $t(r)$  in sehr guter  
Näherung der Durchbiegung einer Membran entspricht.

5       Dieses Tiefenprofil  $t(r)$  ist für eine kreisrunde Ausneh-  
mung 10 in der FIG 2 nochmal näher dargestellt. Es kann  
durch die Gleichung vierter Ordnung  $t(r) = t_0 ((r/r_0)^2 - 1)^2$   
beschrieben werden.  $r_0$  ist der maximale Radius der Ausneh-  
10       mung 10 bezogen auf die Mittelachse M der Öffnung 6 der  
bereits entfernten und daher in FIG 2 nicht mehr darge-  
stellten Lochblendeneinrichtung 5. Der maximale Radius  $r_0$   
ist abhängig von dem Durchmesser D, der Tiefe b der  
Öffnung 6 und ihrem Abstand a von der Oberfläche 9 des  
15       Substrats 8. Falls nun der seitliche Rand des Hohlraums  
11, der von den Seitenwänden der Lochblendeneinrichtung 5  
bestimmt ist, in einer radialen Richtung näher an der Mit-  
telachse M liegt als der maximale Radius  $r_0$ , so bricht das  
Tiefenprofil an dieser Stelle des Randes ab. Der tat-  
20       sächliche Radius der Ausnehmung 10 ist dann nur so groß  
wie der mit R bezeichnete Abstand des Hohlraumrands von  
der Mittelachse M. Ihre maximale Tiefe  $t_0$  hat die Ausneh-  
mung 10 entlang der Mittelachse M. Diese maximale Tiefe  $t_0$   
ist durch die Ätzzeit einstellbar.

25       Zum Ätzen der Ausnehmung 10 ist in allen Ausführungsformen  
das Bereitstellen von Ätzgasradikalen in dem Reaktionsraum  
4 notwendig. Diese Ätzgasradikale reagieren chemisch mit  
dem Material des Substrats 8 unter Bildung eines gasförmigen,  
flüchtigen Reaktionsprodukts. Typischerweise werden  
30       Halogenverbindungen als Ätzgas wegen der hohen Reaktivität  
der Halogenradikale, insbesondere der Fluor- und Chlor-  
radikale, verwendet. Ätzbar sind alle Substratmaterialien,  
für die es geeignete Ätzgase gibt. Vorzugsweise werden als  
Materialien für das Substrat 8 Halbleitermaterialien wie

1     Silicium (Si), Germanium (Ge) oder auch Siliciumcarbid  
      (SiC) vorgesehen. Es können allerdings auch Substrate 8  
      aus Metallen oder Isolatoren geätzt werden.

5     Die Ätzgasradikale werden in einer besonders vorteilhaften  
      Ausführungsform in einem Niederdruckplasma erzeugt. Unter  
      Niederdruck wird dabei ein Druck von 0,01 bis 1000 Pa und  
      vorzugsweise 0,1 bis 100 Pa verstanden. Das Niederdruck-  
10    plasma kann in einer von dem Reaktionsraum 4 getrennten  
      Plasmakammer erzeugt werden. Die entstandenen Ätzgasradi-  
      kale werden dann über eine Gasleitung in den Reaktions-  
      raum 4 geleitet. In einer anderen Ausführungsform wird das  
      Niederdruckplasma direkt innerhalb des Reaktionsraumes 4  
      erzeugt.

15    Zum Erzeugen des Niederdruckplasmas und damit der Ätzgas-  
      radikale ist prinzipiell jeder bekannte Plasmareaktor ver-  
      wendbar. Eine Übersicht über die gängigen Reaktortypen  
      gibt das Buch von Landolt und Börnstein, a.a.O., das als  
20    in die Offenbarung der hier vorliegenden Anmeldung mitein-  
      bezogen gelten soll.

      In der FIG 3 ist ein Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung  
      zur Durchführung des Verfahrens mit einem Parallelplatten-  
25    reaktor veranschaulicht. In einem Rezipienten 2 sind zwei  
      parallele Platten als Elektroden 30 und 31 angeordnet.  
      Zwischen den Elektroden 30 und 31 liegt der Reaktionsraum  
      4. Auf der unteren Elektrode 30 wird das Substrat 8 mit  
      der Lochblendeneinrichtung 5 angeordnet. Die Lochblenden-  
30    einrichtung 5 wird in der Regel vor dem Einbringen des  
      Substrats 8 in den Rezipienten 2 auf das Substrat 8 als  
      Ganzes aufgesetzt. Die Elektrode 30 mit dem Substrat 8 ist  
      über einen Kondensator an einen Hochfrequenzgenerator 23

10

1     angeschlossen, die andere Elektrode 31 und das Gehäuse des  
Rezipienten 2 sind geerdet. Über einen Saugstutzen 22 wird  
der Rezipient 2 evakuiert und über einen Zuführstutzen 21  
mit Ätzgas beschickt. Es wird ein bestimmter niedriger  
5     Druck eingestellt, der im allgemeinen so klein ist, daß  
die mittlere freie Weglänge der in dem Reaktionsraum 4  
erzeugten Ätzgasradikale größer ist als der Abstand  $a$  der  
Öffnung 6 zur Substratoberfläche 9 und zumindest so groß,  
daß die Ätzgasradikale den Hohlraum 11 zur Oberfläche 9  
10    durchqueren können.

11    In den FIG. 4 und 5 ist eine besonders vorteilhafte  
Ausführungsform einer Vorrichtung zur Durchführung des  
Verfahrens in einer Draufsicht bzw. im Querschnitt dar-  
15    gestellt. Auf die Oberfläche 9 des Substrats 8 ist eine  
Ätzschutzschicht 14 aufgebracht. Diese Ätzschutzschicht 14  
wurde derart strukturiert, daß ein kreisrunder Ätzbereich  
91 der Oberfläche 9 mit Radius  $r_1$  freigelegt ist und vor-  
zugsweise vier Justiermarken 15 radialsymmetrisch zum Ätz-  
20    bereich 91 erzeugt sind. Es wird nun eine zylindersymme-  
trische Lochblendeneinrichtung 5 wie ein umgestülpter  
Zylindertopf auf die Ätzschutzschicht 14 aufgesetzt. Die-  
ser Zylindertopf kann als Drehteil beispielsweise aus  
Aluminium gefertigt sein. In dem Boden des Zylindertopfes  
25    ist die Öffnung 6 vorgesehen, die kreisrund ausgebildet  
ist und deren Mittelachse  $M$  gleich der Zylinderachse des  
Zylindertopfes ist. Die Lochblendeneinrichtung 5 wird nun  
mit Hilfe der Justiermarken 15 beispielsweise von Hand  
unter einem Mikroskop so justiert, daß die Mittelachse  $M$   
30    ihrer Öffnung 6 senkrecht durch den Mittelpunkt des kreis-  
runden Ätzbereichs 91 verläuft. In dieser Ausführungsform  
wird der Rand der Ausnehmung 10 genau durch den in der  
Ätzschutzschicht 14 gebildeten Ätzbereich 91 definiert.

11

- 1 Das Ätztiefenprofil wird für einen Radius  $r_1 < r_0$  damit an dem Rand des Ätzbereichs 91 senkrecht abgeschnitten, d.h. es gilt  $t(r) = t_0 ((r/r_0)^2 - 1)^2$  für  $r < r_1$  und  $t(r) = 0$  für  $r \geq r_1$ . Die Ätzenschutzschicht 14 kann nach dem Abheben der Lochblendeneinrichtung 5 wieder entfernt werden. Bei einem Substrat 8 aus Si ist beispielsweise eine Ätzenschutzschicht 14 aus  $\text{SiO}_2$  geeignet. Das Substrat 8 kann mit gepufferter Flußsäure hinterher restlos entschichtet werden.
- 5
- 10 Typische Abmessungen der Ausnehmung 10 betragen vorzugsweise etwa 10  $\mu\text{m}$  bis 1 mm für ihre lateralen Abmessungen, insbesondere  $r_0$  oder  $r_1$  oder R, und vorzugsweise etwa 5  $\mu\text{m}$  bis 50  $\mu\text{m}$  für ihre maximale Tiefe  $t_0$ .
- 15 Es kann auch in einer nicht dargestellten Ausführungsform eine Lochblendeneinrichtung 5 mit mehreren Öffnungen vorgesehen werden. Das Tiefenprofil der Ausnehmung 10 ergibt sich dann als Überlappung (Faltungsintegral) der Einzelprofile für die einzelnen Öffnungen 6, wenn die Öffnungen 6 nahe genug beieinander liegen. Wenn die Abstände der Öffnungen 6 zueinander hinreichend groß sind, können mit dieser Lochblendeneinrichtung 5 mehrere Ausnehmungen 10 mit den Einzeltiefenprofilen der entsprechenden Öffnungen 6 erzeugt werden. Außerdem ist es auch möglich, mehrere Lochblendeneinrichtungen 5 auf eine Oberfläche 9 eines Substrats 8 nebeneinander aufzusetzen oder aufzubringen.
- 20
- 25
- 30 Als Material für die Lochblendeneinrichtung 5 sind vorzugsweise Metalle zu wählen wie beispielsweise Aluminium (Al), Eisen (Fe), Nickel (Ni), Titan (Ti), Molybdän (Mo) oder auch Chrom (Cr).

## 1 Patentansprüche

1. Verfahren zum Erzeugen wenigstens einer Ausnehmung (10) in einer Oberfläche (9) eines Substrats (8) mit folgenden  
5 Verfahrensschritten:

- a) Das Substrat (8) wird in einem Reaktionsraum (4) angeordnet;
- b) auf die Oberfläche (9) des Substrats (8) wird eine Lochblendeneinrichtung (5) mit wenigstens einer Öffnung  
10 (6) derart aufgesetzt oder aufgebracht, daß nach dem Aufsetzen bzw. Aufbringen zwischen dem Bereich (90) der Oberfläche (9), in dem die Ausnehmung (10) zu erzeugen ist, und der Lochblendeneinrichtung (5) ein Hohlraum (11) entsteht, der nur über die Öffnung (6) mit dem  
15 Reaktionsraum (4) verbunden ist;
- c) in dem Reaktionsraum (4) werden Ätzgasradikale vorgesehen, die chemisch mit dem Material des Substrats (8) unter Bildung eines flüchtigen Reaktionsprodukts reagieren können.

20

2. Verfahren nach Anspruch 1, d a d u r c h g e -  
k e n n z e i c h n e t , daß auf die Oberfläche (9) des Substrats (8) eine Ätzschutzschicht (14) aufgebracht wird und diese Ätzschutzschicht (14) in einem Ätzbereich (91)  
25 der Oberfläche (9), in dem die Ausnehmung (10) zu erzeugen ist, vor dem Aufbringen der Lochblendeneinrichtung (5) wieder entfernt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, d a d u r c h g e -  
k e n n z e i c h n e t , daß in der Ätzschutzschicht (14) zusätzlich Justiermarken (15) zum Justieren der  
30 Lochblendeneinrichtung (5) erzeugt werden.

- 1 4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, daß ein  
Substrat (8) aus einem Halbleitermaterial vorgesehen wird.
- 5 5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, daß die  
Ätzgasradikale in einem Niederdruckplasma erzeugt werden.
- 10 6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, daß die  
Lochblendeneinrichtung (5) in vorgefertigter Form auf die  
Oberfläche (9) des Substrats (8) aufgesetzt wird.
- 15 7. Vorrichtung zur Durchführung eines Verfahrens nach  
einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch  
gekennzeichnet, daß die Öffnung (6) der  
Lochblendeneinrichtung (5) nach dem Aufbringen der Loch-  
blendeneinrichtung (5) in einem vorgegebenen Abstand (a)  
parallel zum Bereich (90) der Oberfläche (9), in dem die  
20 Ausnehmung (10) zu erzeugen ist, angeordnet ist.
8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch ge-  
kennzeichnet, daß die Öffnung (6) nach dem  
Aufbringen der Lochblendeneinrichtung (5) über einer Mitte  
25 des Bereichs (90) zu liegen kommt.
9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 oder 8, da-  
durch gekennzeichnet, daß die Loch-  
blendeneinrichtung (5) die Gestalt eines Zylindertopfes  
30 hat, die Öffnung (6) kreisförmig ausgebildet ist und die  
Mittelachse (M) der Öffnung (6) mit der Zylinderachse des  
Zylindertopfes zusammenfällt.

14

1 10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 oder 8,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die  
Öffnung (6) von rechteckiger Gestalt ist.

5 11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 10,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die  
Lochblendeneinrichtung (5) aus einem Metall besteht.

10 12. Verwendung eines Substrats (8) mit einer nach einem  
Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6 erzeugten  
Ausnehmung (10) als Formbett für eine Membran.

15 13. Verwendung nach Anspruch 12, d a d u r c h g e -  
k e n n z e i c h n e t , daß die Membran Teil eines  
Drucksensors ist.

20

25

30



1/3

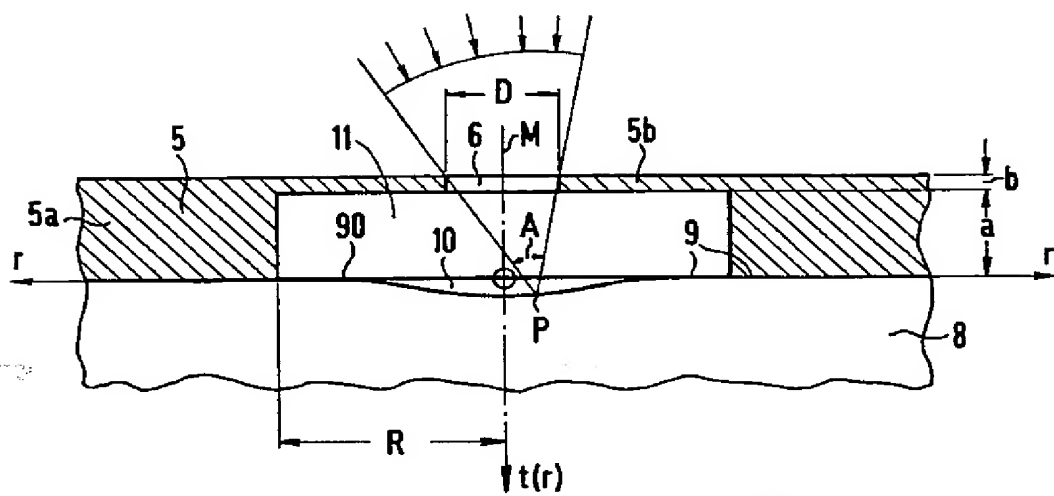


FIG 1

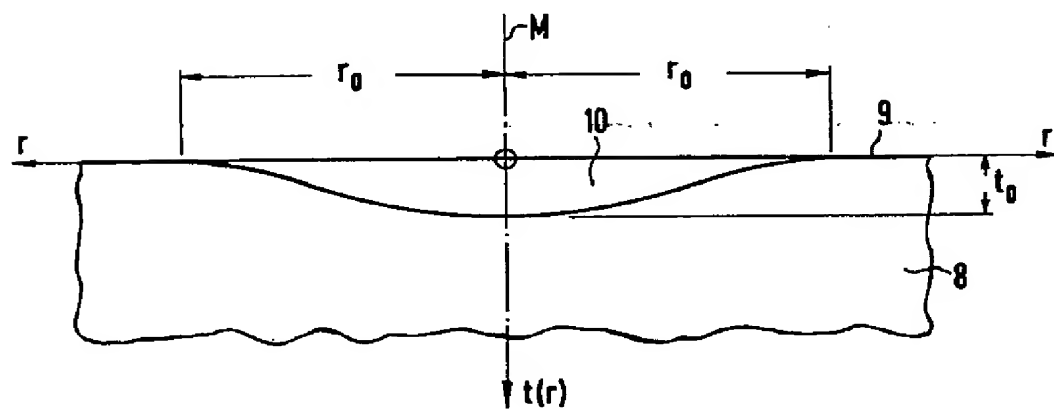


FIG 2

2/3

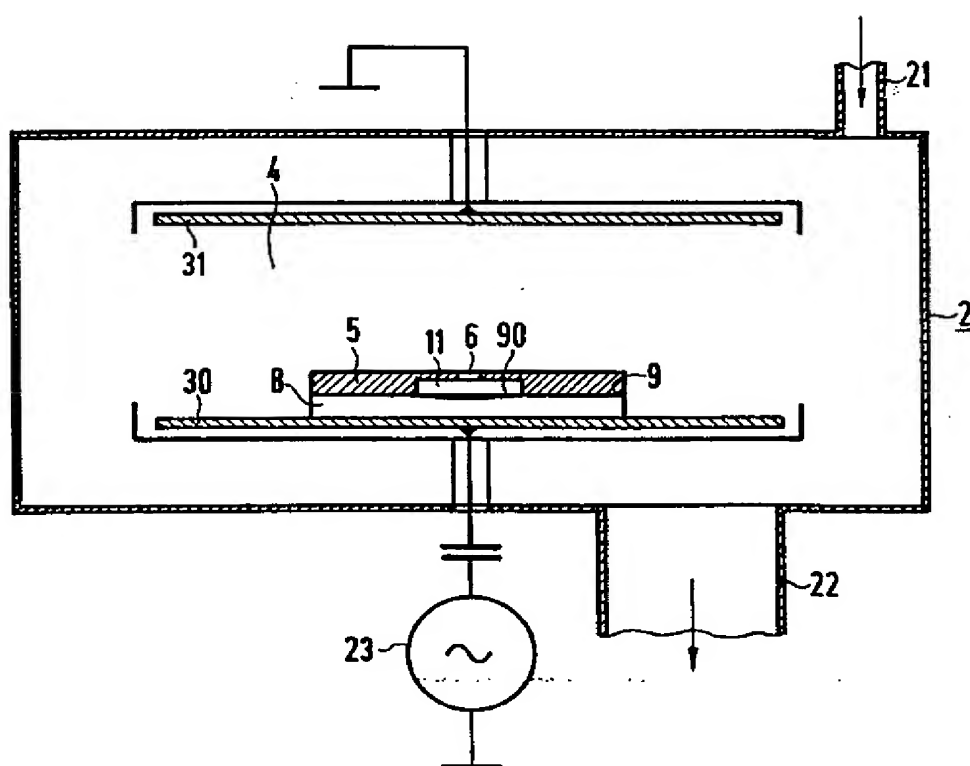


FIG 3

3/3

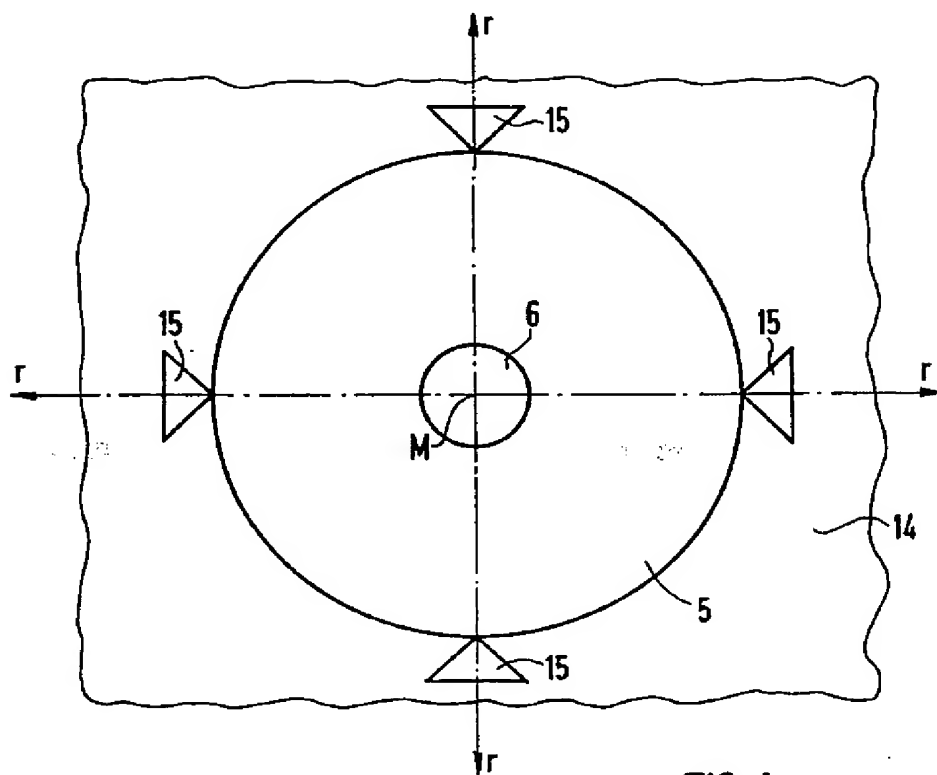


FIG 4

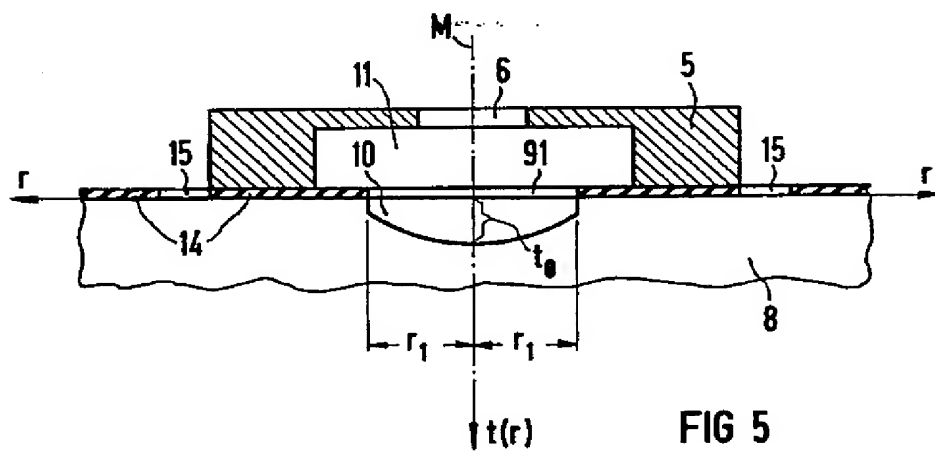


FIG 5

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/DE 94/01274

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 6 G01L19/06 G01L9/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 G01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP,A,0 237 844 (BBC AG) 23 September 1987 see the whole document ---	1,2,4-6
A	WO,A,93 17440 (SIEMENS AG) 2 September 1993 see page 5, line 29 - page 6, line 20; figure 1 ---	1,4
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 10, no. 369 (P-525) (2426) 10 December 1986 & JP,A,61 161 431 (YOKOGAWA HOKUSHIN ELECTRIC CORP.) 22 July 1986 see abstract -----	1,2

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents:

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"Z" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

28 February 1995

Date of mailing of the international search report

08.03.95

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Zafiropoulos, N

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE 94/01274

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP-A-0237844	23-09-87	JP-A- 62224028 US-A- 4764249	02-10-87 16-08-88
WO-A-9317440	02-09-93	DE-C- 4206677 EP-A- 0628209	02-09-93 14-12-94

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Intern: dies Aktenzeichen

PCT/DE 94/01274

**A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES**  
 IPK 6 G01L19/06 G01L9/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK.

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationsymbole)  
 IPK 6 G01L

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP,A,0 237 844 (BBC AG) 23. September 1987 siehe das ganze Dokument ---	1,2,4-6
A	WO,A,93 17440 (SIEMENS AG) 2. September 1993 siehe Seite 5, Zeile 29 - Seite 6, Zeile 20; Abbildung 1 ---	1,4
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 10, no. 369 (P-525) (2426) 10. Dezember 1986 & JP,A,61 161 431 (YOKOGAWA HOKUSHIN ELECTRIC CORP.) 22. Juli 1986 siehe Zusammenfassung -----	1,2

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

28. Februar 1995

08.03.95

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
 Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
 Fax (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Zafiropoulos, N

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Intern. Aktenzeichen

PCT/DE 94/01274

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP-A-0237844	23-09-87	JP-A- 62224028	02-10-87
		US-A- 4764249	16-08-88
WO-A-9317440	02-09-93	DE-C- 4206677	02-09-93
		EP-A- 0628209	14-12-94